

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2867375号

(45) 発行日 平成11年(1999) 3月 8 日

(24) 登録日 平成10年(1998) 12月25日

(51) Int.Cl.\*

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 5/18

19/00

19/00

27/18

27/18

Z

27/42

27/42

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願昭83-257673

(22) 出願日 昭和63年(1988)10月13日

(65) 公開番号 特開平2-1109

(43) 公開日 平成2年(1990) 1月 5 日

審査請求日 平成6年(1994) 1月28日

(31) 優先権主張番号 1 0 8, 4 3 5

(32) 優先日 1987年10月13日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

前置審査

(73) 特許権者 999999999

テオドール ロバート ホイットニー  
アメリカ合衆国 91367 カリフォルニ  
ア州、ウッドランドヒルズ、フェンウッ  
ドアベニュー 5500

(72) 発明者 テオドール ロバート ホイットニー  
アメリカ合衆国 91367 カリフォルニ  
ア州、ウッドランドヒルズ、フェンウッ  
ドアベニュー 5500

(74) 代理人 弁理士 大橋 邦彦

審査官 里村 利光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高解像光学系

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 2次元的な広がりをもつ像を形成する光  
学系であって、

前記2次元的な広がりをもつ像として投影されるべき

2次元的な広がりをもつ物体と、

前記物体を照射する照明光源系と、

前記物体を像面に投影するレンズ系とを備え、

前記レンズ系が、

正パワーを有する少なくとも1つの屈折レンズ素子と、

負パワーを有する少なくとも1つの屈折レンズ素子と、 10

を含む複数の屈折レンズ素子と、

同心円状に複数のリングが形成され、所定のレンズ作用

を有する少なくとも1つの透過グレーティング素子と、

を備えてなり、

前記透過グレーティング素子が各々複数の同心円状リン

2

グを含む第1、第2の領域を有し、前記第1の領域を通  
過したある波長の光による結像面と、前記第2の領域を  
通過した他の波長の光による結像面とが実質上一致する  
ように、各領域における各リングの幅の分布が定められ  
ており、

前記レンズ系において、前記複数の屈折レンズ素子と、  
前記少なくとも1つの透過グレーティング素子との組み  
合わせにおいて収差補正が為されていることを特徴とす  
る高解像投影光学系。

【請求項2】 前記透過グレーティング素子の少なくとも  
1つが、前記光学系の臨界開口に配置されていることを  
特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

【請求項3】 紫外領域に発振スペクトルを有するエキシ  
マレーザ光源と、請求項1の高解像投影光学系とを備  
え、

3

前記光源からの光でマスクを照明し、該マスクの像を前記光学系を介して被加工物体上に投影する露光装置を、さらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

【請求項4】前記透過グレーティング素子の各リングの断面が、2の累乗の段数の微小階段からなるプラトーにより近似された鋸歯形状をなしていることを特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

【請求項5】前記透過グレーティング素子の複数のリングの中に、互いに隣接するリングを通過した光の位相差が $2\pi$ となるようにその幅が定められたものと、互いに隣接するリングを通過した光の位相差が $2\pi$ 以外の値となるようにその幅が定められたものとが含まれていることを特徴とする請求項2に記載の高解像投影光学系。

【請求項6】請求項1に記載のレンズ系において、補正がなされる収差は、球面収差を含み、更に、非点収差、コマ収差、色収差のうちの少なくとも1種類の収差を含むことを特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

【請求項7】光源と、  
一対の準ランダム位相プレートと、  
空間的コヒーレンス度検知手段と、  
検知されたコヒーレンス度に応答して一対の準ランダム位相プレート間の相対的關係を変化させるための手段と、  
を備えたことを特徴とする照明光学系。

【請求項8】照明光源と、照明光源からの光のコヒーレンスを変化させる手段とを含む照明系と、  
照明光源と異なる波長の光を発するアラインメント光源と、アラインメント光源からの光をリング光束に変換する手段とを含むアラインメント系と、  
コリメータ部と、対物レンズ部と、瞳位置に透過グレーティング素子を含み、照明系及びアラインメント系からの光で照明された物体の像を所定の結像位置に微小投影する投影光学系と、を備え、  
前記透過グレーティング素子は中央部とその周辺部とに露光用リングパターン及びアラインメント用リングパターンを有しており、  
前記透過グレーティングの位置において前記リング光束がアラインメント用リングパターンを透過し、前記照明光束がその内側の露光用リングパターンを通過する、ことを特徴とする高解像結像システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### （発明の背景）

電子ビームあるいはX線に代表される原子粒子物質に基づいた高解像システムのような他の技術が利用できるにもかかわらず、半導体工業で用いられる光リソグラフィシステムや幅広い応用に用いられる顕微鏡システムに於けるように高解像結像システムの応用は続いて増えている。電子ビームやX線のシステムは像形成に長い時

4

間を要する他、膨大な費用を要し、操作性も悪く、予見できる将来の多くの応用に対しては、光結像方式がなお好ましいものとして残ることを確実にしている。

しかし、より精密な技術に対して常に増している要求により、光結像方式が屈折光学系によって達成できる解像値の限界に実際上達してしまった。たとえば、高密度大規模集積回路の大きさは常に小さくなり、より高い素子密度で作られている。その一つの客観的目安は最小線幅の仕様である。最近まで1ミクロンの線幅で適当であったのが、産業界の現在の目標は0.5ミクロン以下更には、0.3ミクロン以下とサブミクロン領域の線幅にまで下がってきている。これは1ミリメートルに数千本のオーダーの線解像を屈折光学システムに要求するが、適当なアパーチャと焦点深度を持つ光結像システムでこれまで達成不可能であった。

これらの問題に答えて、光学産業界ではすぐれたレンズ設計電子計算機プログラムを用いて、もっと精巧な多くの枚数のレンズシステムをだんだんと考案してきた。その進んだ技術水準は、“i線”と呼ばれるレンズシステムによって例証される。この“i線”レンズシステムは最高品質のガラスからなるおよそ二十枚の屈折要素を複合的に配置することを利用している。しかし、このシステムが達成できる最高の結果は0.7ミクロンの線幅解像の範囲にある。これは複雑なレンズ設計に伴う多数の要因（色収差、コマ収差、非点収差、球面収差が含まれる）及び目標地点で十分な均一性と適当な波動エネルギーを実現するという問題により、現在約0.7ミクロンと言う最終的な限界に置かれているからである。このオーダーでの精度を扱う時に、製造に於ける固有の制限もある。例えば、最高のダイヤモンド旋削手段をもってしても、短波長での動作に対しては非常に荒い光学表面になってしまう（たとえば、紫外）。

しかし、半導体産業では光結像方式に基づいた多くの生産及び検査手段を考案してきた。また、今後もこれらを利用するのが好ましい。というのはこれらの手段が特別な利益を提供するからである。例えばシリコンあるいは他のウェーハの上に積み重なった層を作る際、高解像屈折光学系を取り入れた“ウェーハステッパ”が利用される。作られるそれぞれの層に対し、異なった高精度のフォトマスクがある。最初、ウェーハは適量の光エネルギーで露光することにより像が、そこで定着され得るようなタイプの感光材料の層でおおわれる。そして、ウェーハステッパの機構によりウェーハは光軸に対してえらばれたマトリクス位置に正確かつ連続的に置かれる。ウェーハ上のマトリクスパターンでのおおのの位置で、代表的には像をある値（普通は5分の1あるいは10分の1）だけ縮小する光学システムでフォトマスクを通じて露光が行なわれる。このタイプのシステムに対する本来の要求は個々の露光で光エネルギーが適当であること、露光された像は全像面において均一であること、

5

そして焦点深度が十分で、解像力が設計仕様を満足することである。これらの要求を同時に満たすのは易しいことではない。というのは、像の大きさが極めて小さいことと極めて高い精度が要求されることから可能な設計の選択余地が大きく制限されるからである。いったんマトリクスすべての位置で露光が行なわれ、定着されていない物質が洗い落とされると、像再生の精度と均一性について像の検査が可能となる。統計的な基礎の上に、いろいろな像の性質を調べるのには一般に光学顕微鏡が利用される。検査は、線幅あるいは他の特性の自動あるいは手動測定を含む作業の組合せの一つあるいはそれ以上より成るであろうが、これらの作業のすべてには像の正確でかつ高解像の拡大が必要である。

実際に利用するもっと高い解像の光結像方式を作るとい問題はすでに限界に近づいたと見える。もっと複雑な多数枚のレンズシステムをもってしても、そのような限界が最終的に乗り越えられないとわかるかどうかは今後に残っている。しかし、光結像システムを設計と生産での束縛から開放できるような大幅に異なるアプローチが必要となったように思える。その束縛は光学設計の方程式に含まれる多くの高次の項をうまくまとめるに際し本来的に課されている。何年か前に、レンズシステムに特別な性質の非球面素子が入れられるべきだという提案によって、この方向での試行的な動きがあった。これらの提案は宮本健郎 (Kenro Miyamoto) が書いた“位相フレネル・レンズ”というタイトルの論文で最もよく述べられている。これは米国光学協会 (Optical Society of America) の1960年11月での学会で発表され、またその後すぐに、ジャーナル・オブ・ジ・オプティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ (Journal of the Optical Society of America), 1961年1月, 17~20ページに掲載された。宮本はまたその論文で理念的に同類の以前の論文を参照している。彼が基本的に提案したのは、“位相フレネル・レンズ”を、例えば、球面収差を補正するように、そこを通る波面を変形させるべく、光学システムの瞳面に置くということである。彼の提案は全く一般的なものであり、高い透過率、半導体工業のニーズにアプローチするような高い解像、あるいは適当な焦点深度を得るというような問題に対しては何の考慮も払われていなかった。一つの例をあげると、宮本は0.63ミリメートルの最小半径寸法を持つ単層薄膜リングの利用を提案した。もっと精密なシステム、すなわち、ブレース型透過グレーティングを作るのに関わる困難に関しては言及していない。

宮本は次の量だけ波面を変形させるべく、位相フレネル・レンズを作ることができると述べている。

$$\phi(u,v) = (k-1) \lambda$$

ここで、 $k=1,2,\dots,m$ で、すべてのゾーンで変形の量がより小さい。これはいろいろの輪帯に(単層)薄膜をつけることによって実現される。そして、彼はこの

6

ように変形された波面は波面を $\phi(u,v)$ の量で変形させるレンズと“まったく等価”であると述べている。

彼の方程式は完全なブレース位相グレーティングを記述し、しかも単層薄膜を用いるという彼のの方法の記述は、また“位相反転ゾーン・プレート”とも呼べる二値的な位相グレーティングの創作に導く。このタイプのグレーティングはただ位相遅延の二つの値の間での交番を与えるようにはたらくだけである。

“ゾーン・プレートと移動ゾーン・プレートの効率”という論文 (Applied Optics, Nov. 1967, pp. 2011-2013) の中でMelvin H. Hormanにより位相反転ゾーン・プレートは研究されている。Hormanはゾーン・プレートあるいは位相プレートの効率を“照明光波面における光束の主像 (principal images) に到達するパーセンテージ”として定義し、そしてこの定義を用いて彼は位相反転ゾーン・プレートの1次効率40.5%を与えた。Hormanは、もし位相フレネル・レンズができたとしたならその効率が100%に近づくだろうことを示した。しかし、この間、よく補正された光学系と一緒にたらく高効率の位相フレネル・レンズの制作は明らかにまだ試みられておらず、また報告もされていない。マイクロレンズとして独立に用いられる三角形プロファイルのプレートがある応用に対しては作られている。

宮本の提案はレンズ設計に対しより大きな自由度を与えるものと認められるが、文献から知る限り、それはまだ実施されていない。これは、導かれる利益に関して考えられている制限、書かれている形での位相フレネル・レンズ製作のむずかしさ、屈折光学素子だけを利用する光学設計での他の進歩、問題に固有なより更に複雑な要因に対する認識の不足といった理由のいくつかによるものであろう。例えば、グレーティングのブレース角で入射した光の平行成分と垂直成分の間での効率には相当の違いがあり得る。また、宮本は、個々のスペクトル成分の時間コヒーレンスが位相フレネル・レンズの解像あるいは空間・バンド積 (space-bandwidth product) を維持する面で重要な役割をはたすことを認識、少なくとも議論することをしなかった。この後は、波面収差の操作に於いて波面の成分分布、照明エネルギーの正確な分布、位相関係の局所的、時間的、空間的な再配列等の要素をうまく考慮することにより、屈折レンズと一緒に組み込んだ形で、光結像あるいは光読み出しシステムの解像を有用な焦点深度、高い効率と共に、以前は達成できないと考えられていたレベル以上に向上させ得るということが示される。位相グレーティングと光学屈折素子を組み合わせることにより達成される高解像光結像または読み出しが依拠する原則と同じ原則が他の光学応用にも利用できる。この応用には、顕微鏡検査とOTF (光学的伝達関数)、球面对物レンズと組み合わせた円すいアキシコン位相グレーティング、従来の円柱レンズと組み合わせた円柱形位相グレーティング、そしてトロイダル非球面グ

レーティング・レンズを含む。円すいアキシコン位相グレーティングは光学屈折素子との組合せに於いて、特に有能的であり、オート・フォーカス・システムを要せず、光ディスクの書き込み及び読み出し素子として所望の長さの細い光線を提供する。システム設計に於いて、位相プレートの特有なスペクトル特性が認められ説明されるならば、屈折光学系の限界がどこで来ようとも、波面収差を精密に補正する能力というのは、いいかえると、潜在的な有用性となり得る。

#### (発明の概要)

本発明によるシステムと方法では屈折光学系の配列の中に、少なくとも1つの、ホログラフィックな、領域的に配置された透過グレーティング素子が置かれ、この素子の1つは一般に、臨界開口(critical aperture)、即ち瞳にある。グレーティング素子と他の素子は、増加的に変化する位相遅れを起こすように、多数に分布した空間的インコヒーレント、時間的コヒーレントな光源により単色で照明される。これらの増加的な変動は照明フィールド全体にわたり制御された形で非線形的に変わり、ある特定の収差を補正する合成波面を形成する。光学結像システムでは、補正は屈折光学系に於ける予定された球面収差のためだけでなく、予定された色収差のためでもある。波面の遅延は波長の何分の一かの増分ずつ変化し、高回折効率を与える、複数のアラトーにより定められた部分よりなる透過グレーティングにより生じる。その部分の場所的な構成は、相互に関連した多くの瞳を作るよう波面成分の相互作用を変えるため、位相反転、透過率変化を含むこともある。この相互に関連した瞳の合成の効果として、例えば焦点深度の増大、コントラスト、解像の改善が考えられる。

結像システムの一つの一般的な例に於いて、単色光源、拡大されたビーム領域全体でビームを一様に分布させる手段、空想的コヒーレンスを効果的に取り除き、ある決められた最小以上の光波の時間的コヒーレンスを形成する手段を含む一つの照明系が用いられる。この例での位相プレートは一つの透過素子を含む。この素子は多数の同心リングがあり、おのおののリングは波長の何分の1かの増分ずつ変わる複数アラトーがあって、リングのアラトーは局部波面に小さい角度の曲げを与える。位相プレートは屈折光学系の臨界開口(critical aperture)に配置され、設計は位相プレートと統合されて行なわれるため、手順が簡単になる。例えば、屈折光学系はコリメーターレンズ部分と対物レンズ部分を含むことになるが、標準的には、そのシステムに対し、既知であるがしかし全体としての制限内にある許容できる収差しかもたないよう相対的に少ない素子板で設計される。位相プレートはマイクロソグラフィ技術によって、各個のリング内で連続的にアラトーの高さが変わる形で半径の変わるリングを与えるように作られる。違うリング・グループでのアラトーの段の関係を定めることにより、

位相プレートの異なる区分を通る光波の位相関係がいくつかの瞳を形成させるように選択的に反転される。一部分のリングあるいはリング・グループはある領域から来た光が遮蔽あるいは減衰されるように、不透明あるいは部分透過であってもよい。こうすると、複数光源からの照明光の空間的分布と位相関係は屈折光学系に於いてはやむを得なかった収差を打ち消すように、再び構成される。このシステムと方法によって1ミリメートルあたり、2500本のオーダーでの解像、高い透過率、深い焦点深度、そしてすぐれたコントラストが得られる。このシステムに利用される屈折光学系は大幅に少ない素子数しか要求しないだけでなく、また球面収差と色収差のような特殊な特性に対して、設計手順にもっと大きい許容度を持たせることができる。

高いビーム強度、強度分布の均一性及び色消しを得るのに半導体製造に対してはパルス・レーザが好ましい照明光源である。しかし、強度分布、フィルタリング及び色収差の問題を克服するための従来の方法と組み合わせることもできる。

この発明の更なる特徴によれば、ある一つの例として照明系は、248nmのような紫外線領域で動作するエキシマレーザとエタロン同調キャビティの組み合わせを含む。これは500000の波を越す時間的コヒーレンスがある光エネルギーのバーストを与えるものである。照明光エネルギーのバーストは一对の離れて配置されたランダム位相板と、中間のビームシフト装置を含み、フォトマスクあるいは物体面上に統計的に均一な形で空間的インコヒーレントな複数光源を分布させる位相ラングマンザーを通過する。位相プレートは1次光の高い透過率を保ちつつ、3°のオーダーの光線の曲がりを与えるように構成される。一つの好適な構成としては、位相プレートの一区分内でアラトーの連なりの選択的反転により実現され、互いに位相の反転する部分により定められる6つの(円)帯状の瞳を含む。一つのシステムには一つ以上の位相プレートが配置でき、一つは臨界開口(critical aperture)に配置され、その他は特定の非球面的特性を与えるよう、ビーム経過に沿って隣接される。248nmの光源を用いる時には、位相プレートのアラトー領域の最大厚みは、各リングが8段のアラトーより成るとき、約0.427ミクロンに制限され、各個アラトーは、最も狭いリングのところでわずか1.5ミクロンのオーダーの幅となる。波面(wavelets)での時間的コヒーレンスは複数アラトー領域によって生じる最大位相遅れより50倍かそれ以上の大きさで維持される。

この発明に沿ういくつかの異なったシステムにより、この概念の汎用性が示される。例えば、顕微鏡システムに置いて照明系から被検物へ向かう光は、臨界開口(critical aperture)の所に置かれ、被検試料上のカバープレートにより生じる球面収差と共に、システム内の屈

折素子による収差を補正する位相板を用いて、従来以上の高い解像で結像される。アキシコンタイプのシステムでは、発明による位相プレートは、表面波を円すい形焦点にもって来るべく、一つかあるいはそれ以上の球面素子と一緒に作用するように形成される。収束波は光軸に沿って、アキシコンの設計の特色をなす比較的長い針状の光を作る。円柱レンズ・システムでも、もっと高い解像と精度のために、波面補正が同心プラトーではなく、平行プラトーによって行なわれる。

更に、位相プレートが有利なのは、分離した光屈曲グレーティングと基準パターンを与える同心円リングの外側輪状領域を含められることである。結像の波長と異なる波長（例えば赤の波長）のコヒーレントな光は感光性表面に影響を与えずに目標面と投影像とのアライメントに用いられる異なった部分つまりこの外側輪状領域を通過できる。

本発明による位相プレートは、所定の特性のリング・パターンを与えるため、一連の二値的な操作を組み合わせるのが好ましいが、デポジションまたはエッチングの各々の段階に対しフォトマスクを用いるかまたは直描により作られる。例えば、1、2、そして4のプラトー高さに対しデポジション層を定めるべく3回の一連の手順が利用でき、フォトレジストの洗い流し、塗布を3回行う一連の工程により、堆積的に零から7番目のレベルまでの一連のプラトーを与えることができる。各々のデポジション工程に例えば、予め決められているリングの半径の変化に対し、波長の何分の1かの違いだけ高純度シリカを付加することもある。このように直径が10cmオーダーでの素子の上に、1つが8つのプラトー・レベルを持つリングが約1700個ある一つの位相プレートが作られる。この寸法は、近年の半導体製造に要求される大きいウェーハと高い解像をもたす現在のウェーハステップ装置に必要な範囲にある。相補的な工程を、即ち、層のデポジションのかわりにエッチングを用いることもできる。

アライメント用に、第2の波長の光源について用いられる外側環状リングも同様に結像領域のリングと同時に位相マスクから記録されるか、あるいは直描で形成される。しかし、波長とそれに伴い要求される層の厚みが違うため外部リングは別々にデポジットされる。

0から16分の15波長までの光学的位相遅延を起こすように一連の0から15レベルまでのレベルを与えるため、4つの二値的マスクを用い、一連の16のプラトー高さを作ることによって、グレーティングの上にもう少しなめらかな、そしてもっと効率の高いブレース角が形成できる。同じように、ただ4つのプラトー・レベルを用いれば、特定の応用に対し粗い、効率の低いグレーティングが、かわりに形成できる。

別の回折または反射リングの組が都合良く位相プレート上に配列される。この目的のために、この素子は始

めに少なくとも一定の領域に1つのベース（例えば、クロム）層がおおわれる。リングは回転させながら描くことによりあるいはフォトエッチング技術により定められる。

リングのある1組は、レンズの芯出しと間隔出しのグレーティングのいくつかのグループを形成する。これらのグレーティングは異なった個々のレンズ素子あるいはレンズ素子群に関して設けられ、特別に配置される。

コリメートされた光線が臨界開口(critical aperture)にあるグレーティングを通過して導かれ、選ばれたレンズ群内のレンズ素子が適当な位置に置かれた時、これらのグレーティングは光軸上に集束ビームを与える。従って、個々のレンズの芯と光軸上位置は、それが組み込まれる際、正確な規準を与えられることになる。

第2の組の反射リングは、始めに、後に続くパターンを中心として働くことになる名目上軸と同心の外側周辺の組(grouping)として描かれる。分離した別々のトラックが回転システムに於いて位相プレート製作の間、直接描かれている時は、このリング組はフォトマスクに

対する、あるいは位相プレートの偏心の補償のための、基準としてはたらく。

サブ・ミクロンの解像を得るために位相プレートの上に複数プラトーを配置することに関して要求される精度は、どんな書き込み技術が用いられようと非常にきびしい要求を課する。これらの要求は中心の近くに第3の反射リングの組を生成し、位相プレート自信を利用することにより満たされる。回転の中心は始めは、限界内で任意に選ばれるが、反射リングを書き込んだ後に、その位置は正確に決められる。これは、各々の反射リングが通過する時、干渉計による(干渉)縞測定を行いつつ中心線の両側でリングを走査することによりなされる。同じように内側リングと外側リングを利用することにより、名目上の位置の間でのしまの数から正確な読みを得ることもできる。これらの読みから、その時点に於ける温度、気圧、光束の正確な補正を用いて校正ができ、それにより、リングを1/30ミクロンのオーダーの精度で配置できる。

この発明による、際立って有効な直描システムはベース上の空気軸受にささえられたエアースピンドルを用いる。単一(往復)方向的に移動できる架台が、書き込みレーザービーム用として、制御システムにより、スピンドルに対し、別トラックの書き込み位置まで移動する。

スピンドルに隣接して設置された偏心センサー・システムが外側基準リングの像を一つのパターンの上に投影し、そして位相プレートが正確に中心に置かれていない時、合成信号中の正弦波状変化を検知する。回転中の芯ずれによる変動を補償するよう、レーザー書き込みビームを偏向させるのに信号変動が利用される。周辺で保持される位相プレートは目視で一ミクロンの範囲内に調節することができ、偏心の補正はこれを0.1ミクロンある

## 11

いはそれ以下にまで減ずる。このシステムは、特定のレンズ組み立て品に対し補正を行うよう、位相プレートを作り得るその精度を、従来のコンタクト転写工程の精度を越えるところまで、向上させる。また、これは、大きな中心出し誤差や累積誤差を生じさせることなくフォトリソグラフィ、処理、そしてデポジションまたはエッチングを行うのに、位相プレートをエアースピンドルの上に置いたり、そこから取ったりできるようにするためでもある。

## (実施例)

第1図の、概略的な一般化した表記は、尺度と比率に於いて違いがあるため、システムの大きな要素と、システム内に於ける光波エネルギーの細かな分布及びその空間的配置とを共に、表わし得ていない。他の図も正しい比率で相対的な寸法を表わしてないが、その特徴と関係をよりよく理解するためには、それら他の図を参照しなければならない。

本システムは、極めて微細な非常に高い解像度の像となるべく、フォトリソグラフィを適当に照明するため、ウェーハステッパのような光結像ユニットに用いるのに好適な形で説明される。ウェーハステッパの制御、位置決め、オートフォーカス、及び関連技術の詳細は公知であり、簡単のために、ここではそれらに触れない。ある特性のエネルギー源となる光が、紫外領域の248nmでおよそガウシアン分布の矩形ビームを生成するKrFタイプのエキシマー・レーザー12を含む照明系10で初め生成される。エキシマー・レーザー12は一秒に約150パルス、パルス幅が $1.2 \times 10^{-8}$ 秒、そして約375mJ/pulsでパルス発光する。これから示されるように、このシステムは十分な強度の放射光を、像を記録するフォトリソグラフィ層へ導き、また、本光結像システムが十分高効率であるため、有益なことに短時間で露光できる。これから列挙する、いろいろな要素を適当に考慮すれば、他にも利用できるシステムは多くあるが、このタイプの好適なレーザーが、Lumonics Hyperex-460 Model IIE-SMとして出されている。

レーザー12から出るビームはかなりの程度空間的にコヒーレントであり、620分の1の程度で時間的にコヒーレントである。このファクターは所望の空間的な及び時間的な分布と一致しない。したがって、レーザー12は一般にエタロン14と言われる一つの共振同調キャビティと一緒に置かれる。このエタロン14はQ値と、124000波長分ぐらいまで合う光の波長の予期性(Predictability)を上げる。あるいは代わりに、同程度の時間的コヒーレンスを生じさせるのに、キャビティ内エタロン同調のあるレーザーを使ってもよい。しかし、干渉縞の影響が出る可能性があるため、過ぎた同調は好ましくない。従ってエタロン14は時間的コヒーレンスを10000波長分の程度の範囲まで下げるため、わずかに離調される。このような手直しの理由は後程より詳しく説明する。

## 12

ビームはレーザー12から出た後エキシマー・レーザー12の長方形ビームを一边が1" (1インチ)の正方形ビームに変える二重プリズム・ビーム・エキスパンダで拡大される。このビームは、SiO<sub>2</sub>基板の上にデポジットされSiO<sub>2</sub>の準ランダム・パターンで定められる第一の準ランダム位相面19を含む空間コヒーレンスランダムマイザー(randomizer)18の中に入る。このランダムマイザー18の構造は断面領域に渡って位相のランダム化の度合いを知らせる光透過素子を提供する。このような準ランダム位相面は、平均厚さ約1ミクロン、平均幅約10ミクロン、のデポジットされたパターンによって得られる。第1のフィード・レンズ20はビームを必要ならモータ駆動もできるレチクルマスキング装置22に伝える。マスキング装置22はビームを周辺で、制御可能な大きさの選べる物体面外形に制限し、ビームは以下に記すように小さな弧状に動的に動かされる可動コーナールミラー24へと向かう。このコーナールミラー24からビームは結像リレー・レンズ26の方に向けられる。このリレー・レンズは第一の準ランダム表面19の像を似た特性をもつ第二の準ランダム位相表面27に結像する。その後、ビームは第二のフィールド・レンズ29を含む関連光学系に向かい、ビーム結合コーナールミラー28を経由し、そして像が向けられるウェーハ平面に行く。この角度のついたビーム経路により、かなりのパワーと体積を必要とするレーザー12をシステムの像形成部分より十分離れたところに置くことが可能になる。

第二の準ランダム位相表面27はより一層のランダム化を行い、すべてのビーム分布領域で空間的な位相のランダム性を友好的に増す。しかし、ランダム性の度合いを変えられることが望ましく、このために、サバール板とソレイユ補償板を用いた部分的コヒーレンス度の測定装置がランダムマイザー(randomizer)18からのビームのこの特性を検知するため置かれる。そのような装置は“準単色光源の像に於けるコヒーレンス度(S. Mallick, Applied Optics, Vol. 6, No. 8, August 1967, pp. 1403-1405)”と題された論文での報告に従って用意できる。装置36は部分的コヒーレンス度に応じた信号を可動コーナールミラー24と結合されたPZTアクチュエータ34を動かす制御回路38に返す。測定装置36による部分的コヒーレンスのコントラストの読みによって、アクチュエータ制御38はPZTアクチュエータ34を駆動し、レーザー12から出たパルス・発光の間で、像での小さい可変的な(60ミクロン程度の)動きの増分を起こす。これらの発光は一秒に150-200回起こり、(1パルスの発光)時間が短いいため、またコーナールミラー24は非常に小さな角度で動けばよい。異なる発光源からの光を適当に空間的にランダム化することは、必要な程度まで、かつ可能な間隔内で直ちにできる。

他の例として、第一の面19を回転ディスクの一部として形成し、得られるランダム性の度合いを変えるために回転速度を少し変えることによって、ランダム位相面

19, 27の間での相対的な動きを作ることとも可能である。

結像リレー・レンズ26と第二のフィールド・レンズ29も1:1の関係でレチクルマスキング装置22をフォトマスク平面42に配置されたフォトマスク40の上に結像する。この例に於いて、この平面でのビームはレチクルマスキング装置22によって、適当な厳しさの許容誤差(±0.005")で、一辺が1.5インチから4.5インチまで連続的に選択できる矩形に開口が制限される。

空間的コヒーレンスのランダムマイザー(randomizer) 18の重要性は、それがビームの平均ラグランジュ積を増加させるということからより明確に理解できる。エキシマレーザー12から出たレーザー・ビームは約 $1.8 \times 10^{-7} \text{cm}^2$  Sterに制限されたラグランジュ積を持つ。これは一つの典型的な露光(約0.3秒)で、狭帯域化されたエキシマ・レーザー・ビーム中に多くの光源があることを示す。いずれの瞬間でもレーザーから出てくる $22 \times 5.4 = 122$ のオーダーの統計的にインコヒーレントな空間モードがあることを示すことができる。また、一つのパルスに20の波連、0.3秒毎に150パルスがある。従って、レーザーは、露光毎に $1.22 \times 10^2 \times 2 \times 10 \times 1.5 \times 10^2 = 3.66 \times 10^5$ の統計的に独立な光源を提供する。しかし、光源が、所望の空間的なインコヒーレンス度で像を照明するためには、像の各点は約 $10^2$ 個の光源で照明されなければいけない。ウェーハ面の像の寸法でミリ当たり約4000本の解像ということから導かれる必要な全部の光源の数はおよそ

$$10^5 \times 10^5 / (1.75)^2 \times 10^2 = 3.27 \times 10^{11}$$

これが露光毎に必要な統計的に独立な光源の全数である。レーザー・ビームは従って、一様にしかも空間的にはインコヒーレントに照明された像を形成するためには約 $5 \times 10^4$ 分だけ足りない。フォトマスクを通り結像レンズへの入射円錐光束内ビームのラグランジュ積は約次の通りのはずである。

$$2.56 \times 10^{-2} \text{cm}^2 \text{ster}$$

第一及び第二の準ランダム位相面19, 27の各々は像の大きさ全体にわたり主光線の高さに実質的に影響せず、約 $2.2 \times 10^4$ 分だけビームの角発散(angular divergence)を散乱させる。これは、システムにとって望ましい $5 \times 10^4$ 分の全体の増加に結びつく。ラグランジュ積は従って $5 \times 10^4$ 分まで調節できる。この調節は自動的に行なうこともできるが、選んだ限界内の値に維持するために、ある特定の像の大きさと露光特性に対して、操作者が部分的コヒーレンス度測定装置36から得られた読みに従ってアクチュエータ制御を予めセットしておくだけで普通十分である、空間的コヒーレンス長の調整範囲は、フォトマスク40にて約1.5ミクロン、これは実質的にインコヒーレント光であることを示すが、この値から約15ミクロンまでとできる。

その結果、光波エネルギーはウェーハ面で測って±1%の一樣強度で4インチ×4インチ(4"×4")のマ

スク平面に分布し、その振幅は±1%の範囲で調節できる。露光時間0.3秒で供給される所与のエキシマからの全エネルギーはウェーハにて $150 \text{mj/cm}^2$ より大きくなる。

しかし、所望の度合いまで空間的コヒーレンスをランダム化することは時間的コヒーレンスまたはこの統計的に異なる複数の光源における各々の光波の周期的予期性(predictability)に影響を与えることはできない。位相プレートにより合成波面中に続いて生じる位相の遅れはビームの分布全体に渡り変化し、可能な遅れ量は相当に大きい。時間的コヒーレンスは、その大きさのオーダーが、波面が正確に再構成されるために可能な遅れより大きくなるよう維持されなければいけない。また、この例で、多くの位相遅れの増加的变化(100波程度)がある。これらの位相調節を適当に行うために要求される時間的コヒーレンスはそのシステムで予定している遅れの最大の波の数の約50倍である。エタロン同調レーザーはコヒーレントな1つの波連内に124000の波(の数)を与え、この位相調節手段に要求される約25倍ぐらいとなるが、このファクターは時間的に独立な光源の最大可能な数を与えるのに反するよう作用する。これらのことは時間的コヒーレンスを約5000波まで減らすことにより確かめられるが、しかし、逆にこれはレンズ設計で色収差問題を引き起こす。従って、このファクターは10000から約100000に維持するのが望ましく、前者の値がこの例では仮定されている。レーザー露光制御44によって、1回の露光でウェーハ面に入射する光の量を選択的に決めることができる。このレーザー露光制御はレーザーが連続的に発光している間引き出されるエネルギーを積分し、適量のエネルギーが供給されたら、露光を停止する。以上に説明するアラインメント・システム46は光軸に沿って独立にはたらく、第7図と一緒に以下に説明するように、紫外以外の波長が違ふ環状ビーム(典型的には赤あるいは青)の向きをビーム結合鏡28及びいろいろな光学素子に向ける。

図では一般的に示しているが、フォトマスク面42とウェーハステップメカニズム54のXY軸駆動システムにより、レジストをコートしたウェーハ52を正確に位置決めしたウェーハ面50とフォトマスク面42との間に結合光学システム56が配置される。光学システム56は屈折素子と発明のいくつかの特徴を具現しているホログラフィックな波面の調節手段の組み合わせを含む。図示した配列では、システムはコリメータ・レンズ群58を形成する一組の三枚の屈折レンズ素子、レンズ・システムの臨界開口(critical aperture)に置いた一つの複数プラトー位相プレート60、そして5分の1に縮小した像をウェーハ面50に投影する4枚のレンズの対物レンズ群62より成る。レンズ群58, 62そして複数プラトー位相プレート60の相互の関係は屈折素子の数を減らしつつ屈折レンズの設計を簡単にすること、また、解像だけでなく、焦点深



15

度コントラスト及び効率に寄与する波面の調節の高い効果を得ることを共に考慮し決められる。

そのレンズ集合体は球面の石英素子を含み、位相プレート60は、新しい合成波面を与えるため像の成分を領域的に調節する波面の位相遅延及び再配向システムを含む。統合光学システム56は像面側でテレセントリックで、位相プレート60及び臨界開口(critical aperture)での放射束は正確には平行でなく、若干発散している。石英の素子は、球面収差多項式(の分)を除きかなる程度のすべての収差成分も、球面素子によって半径、位置、面頂間厚さ、間隔として与えられる自由度を利用し、打ち消されるように、また、位相プレートにより臨界開口(critical aperture)で起き半径方向で変化する位相遅れも考慮して設計される。球面収差はしかし、位相プレートの半径方向に変化する位相遅れにより完全に補正される光路差約75波分に制御される。位相プレート60の対物側素子について3枚は近似的にアブラナティックな群として設計され、四番目は像面に一番近い負のメニスカスであり、像面を平坦化する性質があるためよく用いられる。コリメーター群58の3枚のレンズは累積的に、また位相プレートと組み合わせ、システムのコマと非点収差をなくすことに大きな役割をになっている。更に、球面石英レンズは、色分散を波長入に対する屈折率の変化の割合、即ち $dn/d\lambda$ とすると、負の色分散を持ち、本発明の一つの特徴は位相プレート60に示される透過グレーティングが少し正のベースのパワーの曲率のベンディング効果を起こすことである。この曲率は色消し条件を作るため、小さなレーザーバンド幅範囲でのグレーティングの色分散が球面石英レンズの色分散に十分適合して打ち消されるように選ばれる。このベースの球面のパワーはスケールファクターが非常に小さいので、図示できない。

照明系10からの光波エネルギーは実質的には単色と言えるが、しかし、エキシマー・レーザー12のようなものの様な光源にもバンド幅あるいは色の広がりがある。もしこのバンド幅を極度に狭くすると、それは得られる光のエネルギーを減らし、空間的コヒーレンスの問題を増す。本システムにより提供される色消し作用の能力はエキシマー・レーザー12の0.003nmから0.02nmまでの色の広がり範囲を0.03nmあるいはそれ以上に広くすることを可能にする。従って照明系は実質的に単色でなければならないが、システムとしての得られる付随的利点を伴いつつ、いくらかの色の広がり補償できる。

位相プレート60の中心部分に隣接し、第2～4図を参照しつつこれから説明する内側基準リングの外から始まる一つの領域は、位相プレート基板64にデポジション又はエッチングにより極めて低い最大高さでマイクロソグラフィ的に起伏をつけられた面を含む。起伏をつけられた面は多数のリング68の形で構成され、各々のリングは増加する高さが正確に決められたデポジットされる

16

SiO<sub>2</sub>の細密な複数プラトーまたはリングを含む。代表的なリング68はその半径位置と非線性的な関係がある半径方向の寸法を持ち、高さ零から最大7/8波長の高さまで1/8波長毎に光学的遅延を増加させる8つのプラトー70のレベルがある。第2～6図における位相プレートの図でその関係の概略を示す。第4図から分かるように、各々のリング68で、プラトー70は代表的には(基板64に対して)高さ零から連続的なステップで最大7/8入の高さまで累進的に変わる。248nmの波長で1/8のプラトーの高さは約61nmで、7/8の高さは約427nmである。リング68の半径方向の最も狭い幅は(位相プレート60の外縁で)8ミクロンのオーダーであり、各々のプラトーの半径方向の最小寸法はおおよそ1ミクロンとなる。リング68に占められる半径方向の寸法が変わるので、含まれるプラトー70により決められる合成的起伏の傾きが変わる。ここでは一番急な場合を示している。傾きは3.49°以上であり、波面の曲がりは約2°である。最大の波面の曲がりはこのタイプのブレード・グレーティングを通る光エネルギーの高効率の透過を達成するため約5°に制限される。プレート上のトラックの高さの差分は、最大で入射単光の波長を、その選んだ波長にて、プレートの屈折率から1を引いたもので割った割合に比例する。

各々8つのプラトーのリングが約200あるが、これらは規則的に続くわけではない。導入される位相遅れの位相が反転する6つの別個のグループ(80～85)内で連続的なリングが配列される。一連のグループ(80～85)はその位相が0,  $\pi$ , 0,  $\pi$ , 0,  $\pi$ といった形で変わるように配設されている。この例では、これらの円帯の相対半径が次の表で示したように決められる。

円帯境界の半径	位 相
.99～.80	0
.80～.65	$\pi$
.65～.40	0
.40～.30	$\pi$
.30～.20	0
.20～.0	$\pi$

細かく分けられたリング68と細密に分けられたプラトー70のある複数プラトーの位相プレート60が介在することにより、波面に沿って空間的に分布した形で、開口半径の関数として、増加的で波長と関係した光路長が付け加わる。位相プレート60の厚さの差分は非常に小さくこの例では遅れは7/8波長あるいは約427nmより大きくはならない。しかし、光源が実質的に単色であるので、位相基準に対して波面を描えることで解像は維持される。従って第3図から分かるように、その効果は、照明単色光により形成される合成波面の累積的遅延による。第4図から分かるように、屈折光学素子が合成波面を曲げる場合も、位相は揃ったまま維持される。しかし、位相プレート60が後に続く屈折光学系での収差を前もって補償することと、その様な補償は第3図と第4図で示していな

いということには注意すべきである。

位相プレート60はより特定のにはブラッグ条件 (regime) で作用するホログラフィックな素子として、屈折素子と組み合わせられた形で非球面として、その両方として機能する。非球面特性の結果として、屈折光学系の設計では許される範囲の残存球面収差が波面全体に渡り、必要な(部分)量だけ補正され、それと同時に、他の幾何光学的収差と色収差も打ち消される。臨界開口 (critical aperture) で向けられる複数の点光源は独立な波面成分として再配向されるので、位相プレート60の区分 (80~85) も独特の形で光を像面内に再分布させる。位相プレート60内の個々の位相反転は、数多くの有益な効果を伴う共同的な結像を可能とするシステム内に複数の瞳を定めることになる。

この分野に熟知した人なら、プラトーの数をこの例で与えられた8つから変えてもよいということも理解するであろう。規則的な一続き (progression) において  $\lambda/16$  毎に変わるプラトーを16個用いると、製造の時間と問題が増大するが、ブレース角をより滑らかにし、また、より高効率にできる。

この場合でも既に記した様に累積的に二値的な一連の方法手順を行うことによりこれらのレベルは実現できる。逆に、ある応用に対して許容できるなら結果としていくらか粗くて効率の低いグレーティングとなるが、もっと少ない数 (例えば4) のレベルを用いることもできる。

この光学システム設計で求められる主要な特徴は解像の増大、サイドバンド強度の減少及び焦点深度の増大であ、これらすべてが複数の瞳を定めるリング68の配置を利用することによって向上される。第5図と第6図から分かるように  $\pi$  の位相反転が必要な所ではプラトー70の規則的な連続性は位相ステップ86の外側で中断される。その後、プラトー70は次の中断が起こるまで零から七番目までの順で継続的に変わる。別々の瞳からの光束成分が再結合され、合成波面を形成する時、別々の瞳からの像の微妙なずれがすべてのあるいは多くの注目すべきファクターが向上するのを可能とする。数多くの円帯の組み合わせを解像、焦点深度あるいはコントラストを強化するために採用できるとことが確認されるであろうが、2つ、3つ、そして4つといった半径の異なる配置の  $\pi$  位相反転が特定の応用には有益的だということがわかっている。図に示すようにこれを6つ (80~85) にするのがウェーハステッパーへの応用には望ましい。それはこれらの複数の瞳が、コントラストを維持しながら、焦点深度を増加させ、これらファクターは半導体製造工程で極めて重要だからである。それに加えて、完全な (unobstructed) エアリー・レンズ以上に解像を上げることが実現される。

位相プレート60を通して伝搬する光束の波面の再分布は完全不透明あるいは部分透過の環状リングあるいは

リング配置を用いて行うこともできる。レンズ・システムの設計解析で性能を限定する光束成分を打ち消すあるいは減らすために望ましいとわかった所なら、どこにでも不透明なリングを置くことができる。

光学設計について、本発明によるシステムは収差をバランスさせるのにかなり大きな設計自由度を与える。Hopkinsが“収差の波動理論” (“Wave Theory of Aberration”, Clarendon Press, 1950. pp. 50) で議論しているように、光路差は多項式として解析でき、この光路差は物体上の一点  $h$  を出て、半径が  $\rho$ 、子午角が  $\phi$  で異なる点を通して光線の任意の粗の間で、瞳あるいは臨界開口 (critical aperture) に於いて  $\rho=0$  で  $h$  から出る主光線の光路とを比較して取られる。展開の後、多項式のそれぞれの項は、 $\rho$  だけ含む項 (システムの球面収差を表す級数)、 $\rho$  と  $h$  だけ含む項 (それを“球面型収差”と見なしてもよい)、そして、 $h$ 、 $\rho$  及び  $\cos \phi$  のあるべき乗の項に分けられる。 $\rho$  と  $h$  だけを含む項は像面湾曲 (収差) と関係があり、 $h$ 、 $\rho$  及び  $\cos \phi$  含む項はコマと非点の収差を含む。

臨界開口 (critical aperture) に置かれた位相プレートはそれぞれの光線に対して半径と光線が臨界開口 (critical aperture) を通る時の角度に依存するあらかじめ決められた関数として光路の遅れを加える。球面収差は半径だけに依存する軸上の収差であるため、臨界開口 (critical aperture) で正しい高さで適当な位相遅延を起こしてやればすべてのオーダーの球面収差を完全に補正することができる。

多項式展開での全ての球面型収差の項は位相プレートによって対称的に扱われる。レンズ設計者の役割は残っているコマの項と非点の項を、それらが相互にバランスし、またそれらの残留 (収差) が位相プレートにより起こる半径方向に変化する遅延をバランスさせる所まで減らすようシステムの屈折素子を選ぶことである。

この分野に熟知した人なら、この収差のバランスは技巧的なレンズ・コンピューター・プログラムで普通は行われるが、しかし、 $\cos \phi$  の各々のべき乗成分を含む項の補正は独立して零あるいは零近くまでバランスさせることが必要であるということを理解するであろう。位相プレートはすべてのオーダーの球面収差を潜在的には取り除くという事実は設計手順の残りの部分を非常に簡便にし、また、かなりの少ない素子 (数) で解を与えるのを可能にする。

要約すると、このシステムは予期できる (predictable) 周期性と空間的なランダム性を持つ一連の時間的に変化する光波の微細構造の再配分を用いることにより動作する。エキシマー・レーザーからの連続的突発光 (bursts) を利用して、均等に分布した光が複数光源として、全露光の間隔にわたり、ホログラフィックな位相プレート素子上に表れる。位相プレート60で、効率の高い透過を保ちながら、光束波面での位相調節が達成され

る。このシステムは合成波面の全体に渡り1/10波よりよい精度を与える。このシステムは現在存在している線解像の限界を克服しつつ、従来使われて使われて来たものに比べて、球面石英レンズ素子の数を減らすことを可能とする。照明ビームの限定されたバンド幅は、位相プレートの特性と相俟って球面収差と色収差との十分な補償を可能とする。

レーザー以外の光波エネルギー源も、必要な特性を持っていれば使うことができる。例えば、いくつかの水銀アーク光源の個々の発光線 (line) がこの要求を容易に満足する。このことはKevin BurnsとKenneth B. Adamsの論文 ("Energy Levels and Wavelengths of the Isotopes of Mercury -199 and -200", Journal of the Optical Society of America, vol. 42, No. 10, October 1952, pp. 717-718) に見ることができる。その論文の、Hg199のある線に対する線解像を示す表1aは、必要な時間的コヒーレンスを示している。これらの線はランプ放射の256nmのバンドも一緒に含む。従来の方法で色消し (バンド全域にわたって計算される) の問題を解決していることから、これらの線の成分のそれぞれが利用できる十分な時間的コヒーレンスを持つ光源であることがわかる。

もう一つの例をあげると、その論文の表1bは、365nmのバンドのHg199の詳細を示している。ここで、色消しの問題は従来の方法で解決されており、従って位相プレートを従来と同様の、しかし非常に汎用性のあるパワーの小さい非球面レンズとして機能するように設計することもできる。その様な設計の結果、必要なガラス素子の数が減り、またその性能も改善される。位相プレートはブラック・グレーティングとして、中心波長が最大の効率を持つように計算される。しかし、表1aと表1bをよく調べると、所与のHg放射バンドの頂点から下までのトータルの広がり1000分の2より小さいということが分かる。従って同調は比較的小さな問題である。

位相プレート技術を365nm、404nmあるいは438nmのような時間的コヒーレンスの高い光源がえられるものより従来のものに近い波長領域でのレンズ設計に応用すると、その技術は著しい簡便さをもたらす。というのは、より高次の非球面を、設計の要求からだけでなく、球面素子そのものの小さいが実際にある理想からのずれを補償するために、規定できかつ正確に構成できるからである。

第2図と第5図をもう一度参照していうと、位相プレート60は、リング68により規定されるブレース透過グレーティング領域の外側に、多数の分離した同心透過複数プラトーリング88を含む。これらのリング88は同じくSiO<sub>2</sub>から成りフェーズレンズ60を与えるべく、基板表面にデポジションまたはエッチングすることにより形成される。リング88の幅と傾きはより長い赤の波長に対して選ばれる。その波長はフォトマスク40により定められる像が結像されるウェーハ52のアライメントに用いられるもので

ある。従って、幅と傾きは紫外線範囲で用いられるリング68のものより大きくなるが、8段階に高さが増す手法は同様に用いられる。層を2値的に累加したりあるいはエッチングしたりする同様の工程が用いられるが、用いられる厚みがより厚いため、リング88は普通にはリング68と別に形成しなくてはならない。

リング88の目的は同時に光学システム58、62と組合わさってウェーハ52の上にビームを集束させ、信号が、基準参照マークを有するフォトマスク40に対するウェーハ52の正確な位置を示すように発生されるようにすることである。ウェーハ52上の基準マークは単独で検知することもできる。

赤の波長はウェーハ52上のフォトレジスト層に影響しないため、それを紫外の照明と同時に用いることができる。ここで第7図を参照するとアライメントのためウェーハ52上に精細に集光した基準ビームを与えるためのアライメントシステム46が示されている。

このシステムはスペクトルの赤の部分にある633nmの単色波長を持つHe-Ne (ヘリウム-ネオン) レーザを利用する。レーザ90はガウス分布した狭い出力ビームを発生し、そのビームはビームエキスパンダ91によってもっと広いパターンに広げられる。この広がったビームは第一と第二の液浸した非球面93、94によって一つの環状パターンに変えられ、第一の非球面はリング状の分布を作り、所与の半径上に集光する集束ビームに光を形成し、一方、第2の液浸非球面94は、環状パターンを形成するようビームを実質上コリメートする。この環状パターンは第一のコーナー反射器96とダイクロイック反射型の第二のコーナー反射器97で反射され、第1図のシステムの紫外ビームの光路中に入る。環状ビームは第二のフィールド・レンズ29と組みあわさってレンズ95によってフォトマスク面42の上に集束し、フォトマスク40上の基準パターン領域を照明する。その後、このビームは光学システム56に入り、位相プレート60上の複数プラトー・リング88領域を被うような環状の瞳として再び結像され、またレンズの組58、62によってウェーハ52上に集束及び再結像され、そして反射してまた光路にもどされる。反射した赤の光の基準パターンはダイクロイックコーナー鏡97を通してアライメント検出器99に到達する。検出器は直接と反射の基準像を比較し、必要なオーダーの精度のある既知の方法でウェーハの位置決めをするためウェーハステッパ-54を制御するアライメント信号をつくる。

このように、第1～7図のシステムはウェーハの位置決めをするのに必要な正確な調節を可能とする非干渉的なアライメント・システムを統合的に含む。外側のリング88は紫外用の同心リング68と同じ中心軸に対し配置できるので、同心性が保証される。

位相プレート60の上で正確に配置された同心トラックを定めるための直描システムの主要な素子が第8図に示

10

20

30

40

50

## 21

されているが、ここではこの図を参照する。ここで位相プレート60は精度の高いエアスピンドル110の上にマウントされ、このスピンドルは安定な例えばグラナイト（花崗岩）のベース112にある凹部111内の空気軸受により回転する。スピンドル駆動装置114は磁気式あるいは空気式のいずれであってもよいが、例えば25rpsのような決まったレートでエアスピンドル110を回転させるように結合される。エアスピンドル110の上面に置かれる位相プレート60は、直交X、Y軸に沿って完全ではないが実際上十分な精度で位置決めされる。これはエアスピンドル110の周辺にあるポスト117から延びる高精度な調節ねじ116による。空圧源118はベース112内の導管119を通じ、エアスレッド120に対してエアスピンドル110の中心軸の垂直位置と水平芯位置の両方を保つよう圧縮空気を送り出す。しかし、見て分かるように、中心軸に対して位相プレート60の位置を決めるのに芯出しシャフトあるいは他の機構は使われていない。エアスピンドル110の上部に隣接したエアスレッド120はエアスレッド120の下に突き出る空気軸受けフットパッド（foot pads）121と水平に伸びる空気軸受式サイド・パッド（side pads）122に乗ってスピンドル110に対して横方向に動かすことができる。フットパッド121はグラナイト（花崗岩）ベース112の上面基準面の上で浮上させる形でエアスレッド120を支え、一方サイド・パッド122はグラナイトベース112の垂直延長部126（又は、ベース112と固定された関係の分離した部位）の垂直側面基準壁125からの小さな距離を一定に保つ。エアスレッド120をブロック126上で垂直基準面の方向に機械的に偏位させる方法は示されていないが、空圧源あるいはサーボ機構を含むこともある。側面でのこの空気軸受は、従ってエアスレッド120が壁125に平行な方向あるいは位相プレート60に対して半径方向に動くことができても、側壁125からの距離は正確に維持される。空気軸受に加圧する内部の導管は詳しくは示されていない。

エアスレッド120は、高剛性なステンレス鋼構造の、エアスレッド120と結合されたバー132につながるアクチュエータ130によってブロック126の垂直基準面に平行な方向で位置決めできる。バー132のアクチュエータ130によるこの軸に沿った移動は位相プレート60の半径方向位置とエアスレッド120の上に設けられた偏向システムからの書き込みビームの半径方向位置を変えるが、これについて以下詳しく述べる。位相プレート60の概略の位置決め制御のため、エアスレッド120上のレトロ反射器134はレーザー・ビームを干渉計（ヒューレット・パッカード社モデル5110でもよい）136に戻す。この干渉計136とアクチュエータ130を制御するガイド位置決めサーボ138で、エアスレッド120とエアスピンドル110の位置を常に1ミクロン以下に維持することができる。位相プレート60上のトラックの位置は、磁気あるいは光データディスク用のマスタートラック書き込み

## 22

システムの形式の、コンピュータ146とデータ収納部148を含んだトラックデータ収納部及びシーケンスシステムにより定められる。データ収納部148は正確なトラック位置、トラック幅及びトラック・パターン変調に関する必要な情報を保持する。コンピュータ146の制御のもとで、トラックパターン変調信号はデータ収納部148から変調器駆動部150を通して書き込みビーム制御に送られる。これについて以下詳しく説明する。

これまでの記述から分かるように、エアスレッド120は直交する2方向の各々に対しかなり高い精度で位置決めされる。この位置の一つはアクチュエータ130の制御のもとで位相プレート160上の異なるトラックを選べるよう変わる。エアスピンドル110自身は凹部111内でその名目の軸に関し空気芯出しされ（air centered）ており、位相プレート60はエアスピンドル110上で周辺にある位置決めねじ116によってある程度大まかに固持される。

最終的な正確で動的な位置決めのために、システムは位相プレート60の外縁に配置された基準リング151に対してレーザー・ビームを偏向する。これらのリング151はクロムあるいは他の不透明材料でできており、フォトマスク上の高精度リングを用いたデポジションあるいはエッチング工程によって、前もって位相プレート60の上に作られる。しかし、また、これらは直描シーケンスによって位相プレート60が最初にエアスピンドル110上で芯出しされる時、その周囲の表面に分離して作ることもできる。この手法が本例では用いられる。これらリング151の約20個は、位相プレート60をその任意に決めた芯のまわりで回転させ、フォトリソグラフィ技術あるいは高精度なカッティング技術で円環を作ることににより1.5ミクロンから4.0ミクロンまで変わる特定の幅と間隔のものとして組み入れられる。そしてリング151は手動調節の間の位相プレート60のその後の各々の再位置決めのための、また更に微妙な偏心を補償するための書き込みレーザー・ビームの動的制御のための芯出し基準として利用される。従って、機械手段では一般に不可能な精度が達成できる。

グラナイトベース112の上に設けられた観察及び検出システムは、最初の、及び動的な調節のために用いられる。支柱152は基準リング151を機切り位相プレート60のある固定位置まで延びるアーム154を含む。自動焦点のための従来と同様な光源やボイスコイル・アクチュエータ・システムは簡単のためにここで示していないが、しばしば用いられることになる。位相プレート60に近接したレンズ156により、光源157の像を写し、ビームスプリッター158から第2のビームスプリッター160を経て、接眼部162へ反射させる。光源157の波長は位相プレート60上のフォトレジスト材料が反応する波長とは異なる。接眼レンズ162を通して操作者は基準リング151の相対位置を見て、位置決めねじ116を調節して、エアス

23

ピンドル110上の位相プレート60の大まかな芯出し（例えば約1ミクロンまで）をすることができる。

その後の書き込み操作の間、幾つかの（例えば20）基準リング151がビーム・スプリッタ160を通してミラー161へ、更にレンズ164を通してレチクル166上に結像される。レチクル166は、基準リング151の特定の幅と間隔に対応する不透明に線168を有し、その上に位相プレート60からの反射リング像が重なる。位相プレート60上の反射基準リングの間の空白間隔がレチクル166上の不透明な線168とちょうど重なった時は最大信号が与えられ、リング151の反射した像がレチクル166の透明な線の部分に重なった時は最小の信号が与えられる。パターンでいくらかの偏心有ると、レチクル166の後方の光検出器170が前置増幅器172を通し、偏心変動に伴う正弦波状に変化する信号を与える。この正弦波状変化の周期は比較的長く、回転レートで決まる。代わりに、レチクル166は与えられた角度内で基準リングの像による線の数より少ないかあるいは多い線を含んだものを用いることもできる。これは、ある決まった形で基準リング・パターンと相互相関するパターンを形成し、振幅が偏心変位と関係した交番信号が発生される。

この偏心変化は位相プレート60に向かう書き込みビームの半径方向での位置を決め、偏心を0.1ミクロン以内に保つために利用される。この目的のために、安定なグラナイト基準ベース112にレーザー180が固定され、レーザー・ビームは、固定された反射器181からエアースレッド120の上に設けられたハウジング182へ向けられる。ビームは反射器181から音響光学変調器184へ偏向される。レーザー180はその波長がフォトレジストを効果的に露光し、定められた像を形成するように選ばれる。変調の後のビームはコーナリミット186、186から一対の反射器187、187へ向かいハウジング182の側方アーム189の中の音響光学偏向器188を通して、その後、ミラー190で偏向し、レンズ192を通して位相プレート60のある下の方の領域に集光する。ここでも従来からの自動焦点システムを使えるが、それは示していない。音響光学変調器184は変調器駆動部150から変調信号を受け、音響光学偏向器188は偏心センサー回路170、172から制御信号を受ける。偏向器188はトラックに当たるレーザー・ビームの半径方向位置をエアースレッド120の位置により決められるビームの名目位置に対して変えて、光検出器からの信号に応じて、残った偏心を取り除く。

サブミクロンの分解能が、光学システムに対しプラトーを配置する際に達成されるように、位置決め精度が望まれるとき、特別の考慮が装置の校正に対しなされなければならない。装置を校正するためには、位相プレート60そのものを基準として利用する。外側反射基準リング151に加えて、フォトリソグラフィ技術によってあるいはクロム表面に描いて、位相プレート60の中心に非常に近いところに第2の組のリング193を書き込む。これ

24

らのリング193を一般的に図2と図5で示す。外側及び内側基準リング151と193それぞれを初めの回転中心に対し、中心を同じくして書き込む。この初めの回転中心は位相プレート60を回転エアースピンドル110上で位置決めすることによりある任意の制限内に定まるが、この時点ではそれ以上正確にはわからない。測定と計算の手順は一人の操作者によって行うことができるが、校正のためにリングの位置を正確に決めるのに干渉計136とコンピュータ146を含む図8のシステムを有効に利用できる。エアースレッド120はレーザー180のビームと反射信号を検出する図8のセンサー（示されていない）を伴って半径方向位置の全長に亘り移動する。この検出器は各々のリングを集光ビームが通過する間、信号変化を与え、そのパルスのおおのはトリガー信号として利用される。干渉計136の読みを同時に取って、データ・プロセッサでそれをトリガー信号と相関させる。この様に、最初は外側の組151の各々のリングが検出され、干渉計136からの干渉縞の数は半径方向位置の正確な表示としてコンピュータ146に入る。半径方向の走査は内側リングの組193を通り中心の両側で実行され、それぞれの分離したリングが基準点を通った時、トリガーがかかり読み取る。コンピュータ146を使って線形回帰を行い、正確な平均値を計算し、回転中心を非常に高い精度で決めることができる干渉計136の測定を利用して、外側リングの組151の、この計算による中心に対する半径方向の距離を決めることができる。この計算はその時の温度、圧力及び光速といった条件に対して正確な校正を行うことを可能にする。後の校正と比較するため規準が設定され、全ての有意の変動に対して小さいが有意の補正を計算することができる。こうして、干渉計の測定値を利用して複数プラトーの半径方向での位置を決める時、その精度は±1/10ミクロンに維持され異なる領域での位相遅れが保証できる。

従って、操作において、名目上中心となっているエアースピンドル110と位相プレート60は決められた規準に対し、位相プレート60に連続トラックを書き込むのに必要な高いオーダーの精度まで初めに精度よく置く必要はない。マイクロリソグラフィの工程を始めるに際し位相プレート60の中間領域にフォトレジスト材料を塗布した後、操作者は基準リング151を観察することにより、位置決めねじ116で、初めに位相プレート60の概略位置を決めればよい。エアースピンドル110が回転している状態に於いて基準リング151に対するどの様な偏心があっても長い周期の正弦波状の偏心信号が発生され、偏向器188による偏心の動的補正が行なわれることになる。逆の、即ちエアースレッド上に偏心センサーを置きレーザー・ビームを固定する配置をとることもできるということがわかるであろう。しかし、ここで示した配置がエアースピンドル110に対してより良い安定性を与える。

スピンドル駆動サーボルーブは所望のリングの半径方

10

20

30

40

50

25

向位置とわずかに異なる位置に駆動する可能性もある。しかし、この違いも音響光学偏向器によって加えられるビーム補正の成分として補正される。外側及び内側基準リングを、それらのリング間距離と幅を規則的でない形で配列することによって、有利に配置することができる。基準(リング)り組のリング間隔の配列は、純規則的から疑似ランダム、ランダムあるいは例えば数学的級数による関数的な配置まで変えることができる。

従って、複数リングの組の中の各々のリングの同定は、配置間隔の特性から可能となり、一つのリングが他のリングと間違えられると生ずるあいまいさが避けられる。リングをこのように規則的でない間隔で配置することの更なる利点は以下に説明する偏心センサーシステムの光検出器から来る特有の誤差信号がその誤差曲線に於いてあいまいさも位相反転も含まないように形成できることである。

位相プレート60の始めの表面処理、独立のフォトリソグラフィ工程あるいはエアースピンドル110上にある時のカッティングのどちらかにより外側基準リングが作り込まれた後、一つの代表的な位相プレート60への直描工程が始まる。どんな時でも位相プレート60をエアースピンドル110上の保持システムから取り去り、必要な深さまでフォトレジスト層を塗布することができる。この層は複数プラトーレベルが形成されるべき領域がその中にある基準リング151を含んだ領域全体に亘り設けられる。フォトレジストが実質上赤色光に対して透明であるので、偏心検出器で基準リングを見ることができる。

次に位相プレート60がエアースピンドル110の上に再び配置され、操作者は初めに接眼部162で観察しながら、概略、芯が出るまで、手動で調節を行なう。その後、エアースピンドル110が決められたレートで回転し、レーザーが選んだトラック位置に集光され、トラックが前もって決められた幅で書き込まれる。トラックのそれぞれの書き込みに従って、エアースレッド120の位置がコンピューター146の命令のもとでのアクチュエータ130によって別の半径方向のトラック位置へ再位置決めされる。次のデポジションあるいはエッチング段階の後、そのプラトー・レベルを持つことになるすべてのトラックに対し完全に露光が行なわれるまで、他のトラックが連続的に書き込まれる。

それとは別の手順としては、エアースレッド120をスピンドル1回転で0.1ミクロン・ピッチという一定のレートで動かすことである。このように作られたスパイラル・パターンは断続的駆動によって形成された円形パターンと実効的には区別できない。

そして位相プレート60をエアースピンドル110上の位置から取り去り、光露光された像を固定して、決められた像を残すよう現像されていない部分を落とす。その後、デポジションあるいはエッチングを必要なレベルまで行ない、固定したレジスト層を全部落とし、代わっ

26

て、次のトラック・グループのパターンを書き込むため新しいレジスト層を置く。その後、この手順を繰り返す。すなわち、フォトレジストを露光し、固定されていない部分を洗い落とし、次のプラトーまでデポジションあるいはエッチングし、そしてもし必要があればこのサイクルを再び繰り返すことができるよう固定されたフォトレジストをもう一度取り去る。

高精度同心トラック位相プレート上に直接書き込むこの方法によって、デポジションあるいはエッチングされるプラトーの各々のレベルに別々のマスクを作って置くということが避けられる。このことは超高解像システムにとり、特に重要である。このシステムに於いては、仕上げられたレンズ要素の実際の特性に応じ最良の補正を施すため、計算によって位相プレートは個別化される。この目的のため、最初にレンズ要素を設計し、決められた理想特性に最も近い状態まで、研削研磨する。その後、これらの要素の理想からの程度と内容を解析し、実際の特性に合わせた補正が計算される。この情報は計算され、ディスクファイル、テープ送りあるいは他のメモリーシステムのようなトラックデータ収納部に入れられる。校正した値に基づいてトラック・データ収納部の内容を更に修正することができる。このような個々に応じた調整は個々のシステムに最大の解像を与えることができる。

このすぐれた方法はデポジションあるいはエッチングに個々のマスクを用いることを不可能としない。その方法をそれぞれ第9図と第10図で示す。この二つの図は段階的手順によって、決められた高さの八つのプラトーの規則的なつながり(明確にするために第9図と第10図では誇張されているが、紫外波長に対して、一般に427nmより大きくならない)がどう形成されるかを示す。プラトーの位置は、一番低いプラトーから一番高いプラトーの範囲に零から七までに設計される。簡単のため、いくつかの階段は組み合わせられる。

まず第9図を参照すると、第1のマスク200が用意され、従来の形の密着転写機構を用い、基板表面に塗布された第1のレジスト層202の上に密着して置かれる。三つのデポジション段階だけで八つの異なる層を得るために、デポジションが2値的に、層の厚みが波長(を単位とした)最小増分の倍数で変わるよう行なわれる。用いるレジストはポジのものであってもあるいはネガのものであってもかまわない。ポジかネガかによって第1マスク200を通じて露光された後、露光されたあるいは露光されなかった領域のどちらかが洗い落とされる。同様に、マスク上での像がポジであっても、ネガであってもよい。この例では、ポジのレジスト材料を用い、光を受けたフォトレジストは固定されず、洗い落とされるが、一方、未露光部は固定される。洗浄後、基板上の遮蔽された材料のパターンは第9A図の第1のマスク200で不透明とされた領域に対応する。ペーパーデポジション工程

27

を用い、またペーパー状シリカが基板204に堆積するとき、その厚さを監視することによって、第98図から分かるように、第1のプラトーが位置1,3,5及び7に作られるがレジスト層202は洗い流されている。第99図に示されるように、その後、第2のレジスト層205が置かれ、位置0,1,4,5を隠す第2のマスク206で被われる。第99図に示されるように、マスク206を通じて露光し、マスク206を取り去り、そして洗浄した後第2のプラトーをデポジションし、すべての露光領域に第1（プラトーの）二倍の厚みを加える。第99図から分かるように、この手順は基板を残す。位置0,4をゼロ平面として始まる2つの4段階手順があるということが分かるであろう。第99図が第3のマスク207の適用を示す。すなわち、それが第3のレジスト層208の上であって、露光されたフォトレジストを除去した後、4つ分の高さの層が付加され、0-7（第99図）のプラトーの規則的な縦ながりが残るよう位置0-3をおおう。一連のマスク200,206,207を置く際、位置を正確に決めるために、位相プレート60の外周の基準リングが利用される。マスクを用いる順番を逆にして同じ結果を得ることも可能である。

第100図は一連のプラトーを基板にエッチングする手順を示す。マスクの透明な領域は物質が基板から除去されるレジスト層の領域を示す。同様な3段階の層形成手順が用いられるが、プラトー形成の順番が逆になり、初めに一番深いエッチングが行われる。第1のマスク210（第100図）は第1のレジスト層211上で位置4-7をおおい、四つ分の深さの層のエッチングが位置0-3（第100図）で低いプラトーを作るために用いられる。第100図における4つの2つ分の高さの増加分を残すために、第二のレジスト層213上の第二のマスク212は位置2,3,6及び7を被い隠す。その後、第三のレジスト層上の第三のマスク214は位置1,3,5,7を被い、第三の単層エッチングにより第101図の規則的な一連のプラトーが残る。

すでに説明した理由のため、直描技術が望ましいが、個々のフォトマスクを第8図で示す高精度なビーム書き込みシステムを用いて作ることもできる。基準パターンと個々のトラックを書き込む間、感光材料をエアースピンドル上のフレーム内に保持し、位置を保つことができる。

基準リング151,193は最初の書き込みの間に、クロム面に配置することができる。スピンドル110の位置精度が高いので基準リングはほとんど環状でリング・パターンの中心を規定し、また中心軸と同心であるので、偏心補正を必要としない。外側基準リング用のマスク220の一部を第11図で示すが、個々のトラックが非常に小さいので、これらを大きく拡大している。各々のマスク220を芯を保証するように、位相プレートの周辺近くの外側基準クロムリングとのアライメントのため、基準リング222は外側領域に与えられる。複数プラトー・パターンの個々のプラトーを規定するトラックは不透明領域224と

28

透過領域225として示されている。

従来の方法によるシステムで個々のレンズ素子の精密な芯出しとアライメントは長い時間と大変な努力を必要とする。この仕事を簡単化するため、位相プレート60の外側部分に近いクロム基板に初めから何組もの芯出し及び位置決めグレーティング・リング228（第2図及び第5図）が組み込まれる。従って、位相プレート60がその位置にある時、これらのリング228は自動的に芯出しされ、また臨界開口（critical aperture）にあることになる。多くのその様なグレーティング・リング・バンドは外側基準リング151と赤色光波長透過グレーティング88の間に置かれる。第12図で示すように、個々のバンドは初めの組み立てとアライメントの手順にかなり有利に用いられる。これはこれらのバンドが角度に於いてもエレメントの間隔に於いても必要な精度を保つからである。位相プレート60は初めに臨界開口（critical aperture）に配置され、それを基準として、すべてのレンズ素子の位置決めと芯出しがなされる。第12A図に見る様に、この目的のため光源（示していない）からの平行光は、位相プレート60上の芯出し及び位置決めグレーティング232の第一のバンドに照射されるよう、開口板230を通過することによりリング形状にまず成形される。その後、第一のレンズ素子234を光軸の中心に対して調整し、光を光軸上での正確な点235に集光するようにする。この点はその後軸上の基準となる。非常に小さな穴があるついたて236がこの位置に置かれる。芯出しと位置決めグレーティング・リング288の組のこのバンド232はその特定の素子だけで集光するよう第一のレンズ素子234の実際の特性に関する情報によって形成される。その後、位相プレート60上の芯出しリングと位置決めリングの第二のバンド237が第二の開口板238を通して平行光で照明される。ここで第二のバンド237は第一のレンズ素子234と第二の素子240の組み合わせの特性に従って光線を曲げるように設計される。再び同様に光軸上の選んだ点235で焦点を結ぶまで第二の素子240は動かされる。

第12C図から分かるように、位相プレート60の臨界開口（critical aperture）位置の同じ側で全部の光学素子が付加され組み込まれるまで、この手順は個々の光学素子とグレーティング・リングのバンドについて繰り返される。

位相プレート60の反対側にあるレンズ248の位置合わせを行なう場合には、ついたて236の焦点235に対応する穴が後ろからレーザー250と縮小結像レンズ252で照明される。この穴を透過した光は、第12A図、第12B図の場合と同様に、図示しない成形開口板246を経てリング状となる。このビームは、先に芯出しされたレンズ素子234,242,244を通過して位相プレートの別のバンドの組245を照明する。バンド245を透過したビームがレンズ248を透過して軸上の集光点249を作る。この点が基準として他のレンズ素子248を反対側で芯出しし、軸上の位置



29

決めをすることができる。全部のレンズ組み立てが終了するまで、その後も別のレンズ素子についてこれらのステップを繰返すことができる。即ち、レンズ248に加えて更に他のレンズの芯出しを行なう場合には、レンズ234、240等について説明したのと同様に、位相プレート60上の更に別のバンドを用いて集光点249にビームが焦点を結ぶように他のレンズを動かせばよい。

従来の芯出しそして転方向位置決め技術も利用できると考えられるが、最も精密に作られたレンズでも製造許容誤差があるため、またこれらはレンズ素子のいろいろの累積的な組み合わせに対して決定されるため、そして更に位相プレート60は臨界開口(critical aperture)に固定されるため、位相プレートそれ自身を用いることはこの点で特に有利である。

ここで第13図を参照すると、この発明による顕微鏡260の主な素子は、顕微鏡260の臨界開口(critical aperture)の位相プレート262を含む。被検標本264は透明基板266の上そして一般的には厚さ0.18mmの薄いカバー・ガラス268の下に置かれる。発明による照明器270は複数光源を含む空間的にランダム化された、時間的にコヒーレントな光ビームを標本264を通り顕微鏡260の対物レンズの方へ向かわせる。位相プレート262の設計は光学システムの屈折素子の球面収差を補正し、そして単色照明は横の色補正に対する必要をなくす。カバー・ガラス268は当たる光線に特有な球面収差を加えるが、それも同様に補正できる。特に平らな像面の対物がしばしばカメラ観察に要求され、球面収差補正は、非点収差と像の平面度も更により良く補正されることを可能とするので顕微鏡に対するこの応用には更に総合的な有利性がある。

"Axicon, A New Type Optical Element" (J.H. McLeod, "The Axicon, A New Type of Optical Element", Journal of the Optical Society of America, August 1954, pp592-597と題された論文に、平面波を光軸と共軸な実際のあるいは実質的な線状の像に変換する円錐平面レンズシステムの記述がある。このタイプのシステムの長所はそれが非常に細い相当な長さの円錐形針状光を与え、光学記憶再生装置のような多くの最近の光学システムに必要なオートフォーカス・システムを必要としないことである。その効果は、アキシコン面で屈折した平面波の収束と強め合いにより達せられる。線状光の軸方向位置は収束アキシコン素子の開口で制御でき、線状光の幅あるいは大きさは開口数あるいはビームの収束角度で制御できる。しかし、特別な円錐形のそして他の非球面表面が必要となるので、このタイプの光学システムの十分な可能性はこれまでの所まだ実現に到っていない。

しかし、この発明によれば、アキシコン効果が照明器270を位相プレート272及び球面レンズ274(必要なら2個以上の屈折素子を用いてもよい)と一緒に用いることにより得られる。位相プレート272に複数のプラトーを半径とは無関係に実質的に等しい幅と厚さをもつよう配

30

列することによって、球面レンズ274との組み合わせに於いて円錐レンズの効果は2倍となる。位相プレートでの光線の曲がり約3°に制限される。第14図から分かるように、収束平面波は有用なかなりの程度の焦点深度を与える。もし必要なら複数のプラトー・リングに変化を持たせることにより、同じ位相プレート272で、球面レンズ274の球面収差が補正できるということがわかるであろう。

第15図と第16図で、発明の概念の円柱レンズ・システムへの応用が示されている。このような応用では、照明器270は規定された特性の光を傾きと幅が変わる平行な線の形で変形複数プラトー284を有する位相プレート282を通して向ける。プラトーの傾きと幅は同じ光路内にある円柱レンズの組286、288の中心光軸に対して非線形に変わる。円柱レンズの組286、288に於ける位置遅延による収差の補正は光軸に対する位置に応じ、位相プレート282全体に亘り取り入れられる。

位相プレートが適当な光投影器との組み合わせで、その光学システムから広がり、円柱(レンズ)の軸を含む面内にあるシート状の光を形成する浅いプリズム又は複プリズム(bi-prism)に近い作用をする、そのような位相プレートと円柱レンズの組み合わせができるということもわかるであろう。これに加えて、これまで述べた他のシステムもこの様に作られる像界内で結像システムとしても読み出しシステムとしても等しくうまく作用することができる。

多くの方法、手段及び変形を述べたが、この発明はそれだけに限られるのではなく、添付の特許請求の範囲内の全ての形態と変形を含むことが認められるであろう。

#### 【図面の簡単な説明】

第1図は、照明系及び位相プレートを含むこの発明によるシステムの主要な要素の簡略化した概略構成図である。

第2図は、第1図のシステムに用いることのできる位相プレートの一部分の正面図であり、少し理想化された形で、一般的なリング配列を示す。

第3図は、位相プレートの部分側断面図であり、位相プレートに於けるプラトーの変化と波面の変動の補正を示す。

第4図は、第3図と同様な別の部分側断面図であるが、ただし、波面補正の異なる様相を示す。

第5図は、プラトーに加えて内側と外側のグレーティングを説明する位相プレートの拡大した断面の一部描写である。

第6図は、位相プレートの他の部分側断面図であり、位相反転を組み入れる方法で示す。

第7図は、第1図のシステムで用いるウェーハ・アライメント・システムのより細部を示す構成及び概略図である。

第8図は、この発明に従って、位相プレートを作るため



31

の直描システムを示す断面構成図である。

第9図は、9Aから9Fの部分から成り、デポジションによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第10図は、10Aから10Fの部分から成り、エッチングによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第11図は、この発明により位相プレートを作るのに用いることのできるフォトマスクの一部分の平面図である。

第12図は、第12A図から第12C図にて、システム内のレン

10

ズ素子のアライメントに用いることのできる個々のステップを示す。

32

第13図は、この発明による高い解像の顕微鏡法に用いられるシステムの一例の側面概略図である。

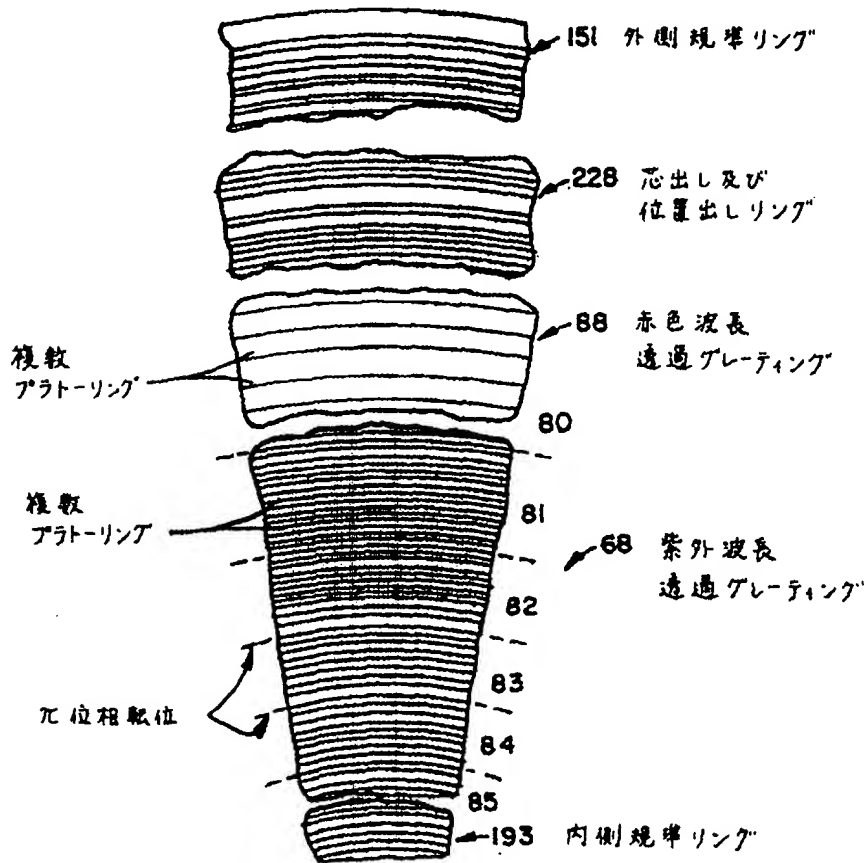
第14図は、本発明による、光軸に沿った針状の光の線を与えるアキシコンタイプのシステムの側面概略図である。

第15図は、本発明による位相プレートを用いた円柱レンズ・システムの簡略な配置図である。

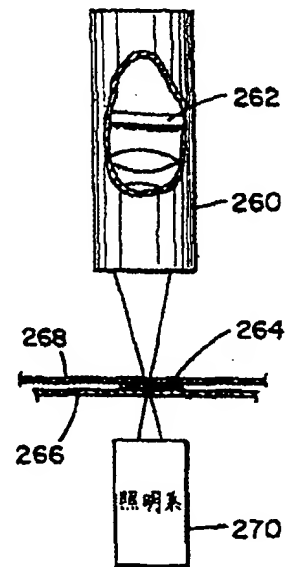
第16図は、第15図のシステムの平面図である。

46:アライメントシステム、52:ウェーハ、58:コリメーターレンズ部、60:位相プレート、62:対物レンズ部、68:レンズ。

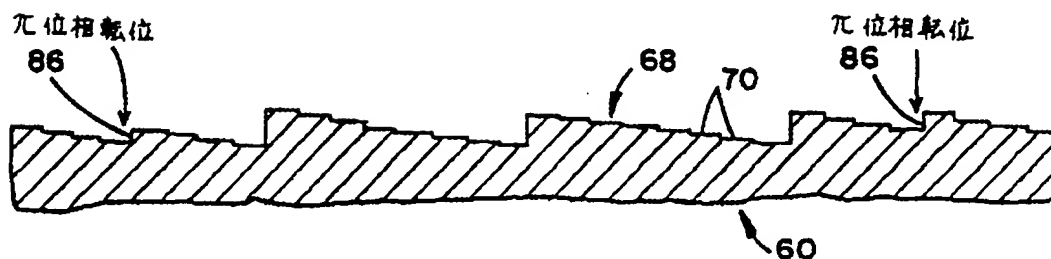
【第2図】



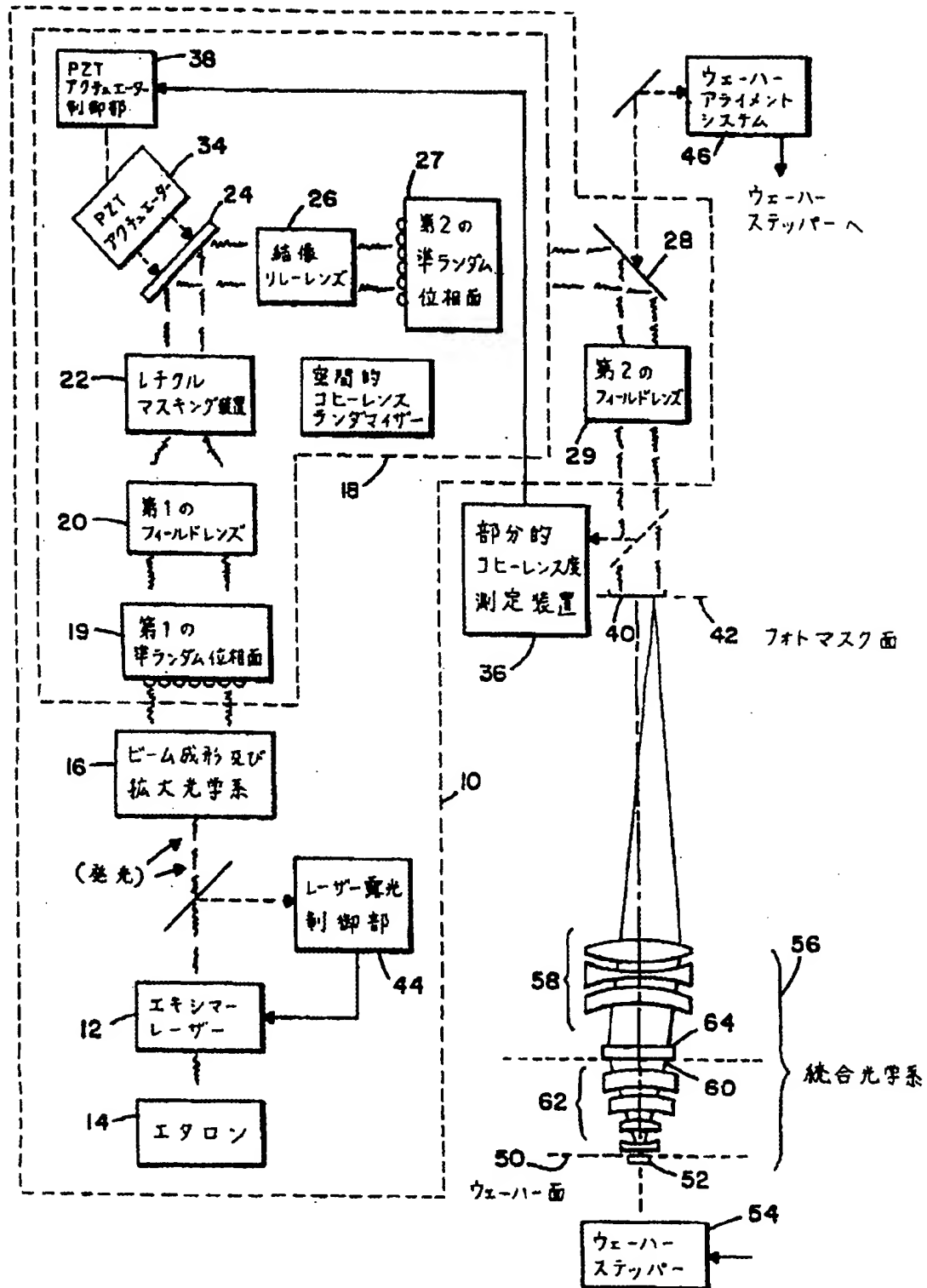
【第13図】



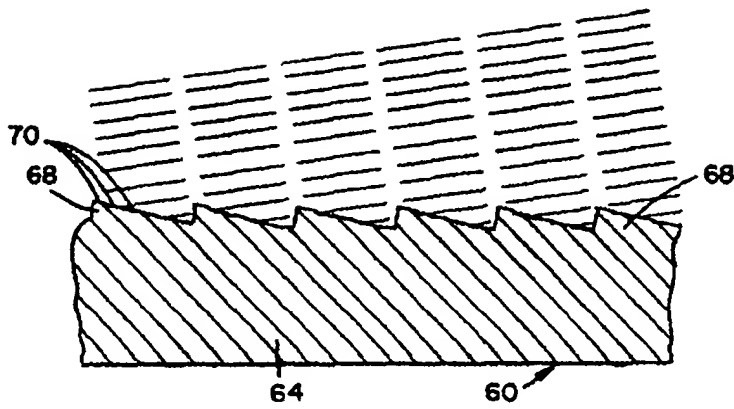
【第6図】



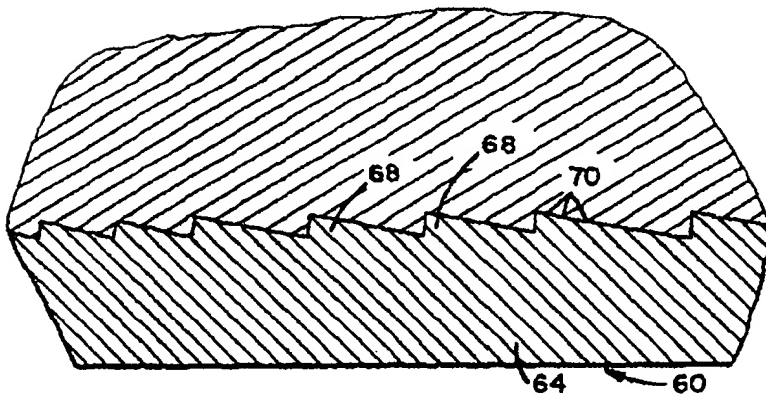
【第1図】



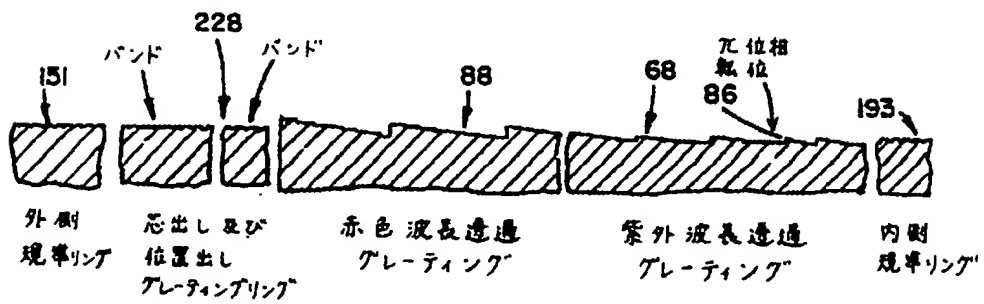
【第3図】



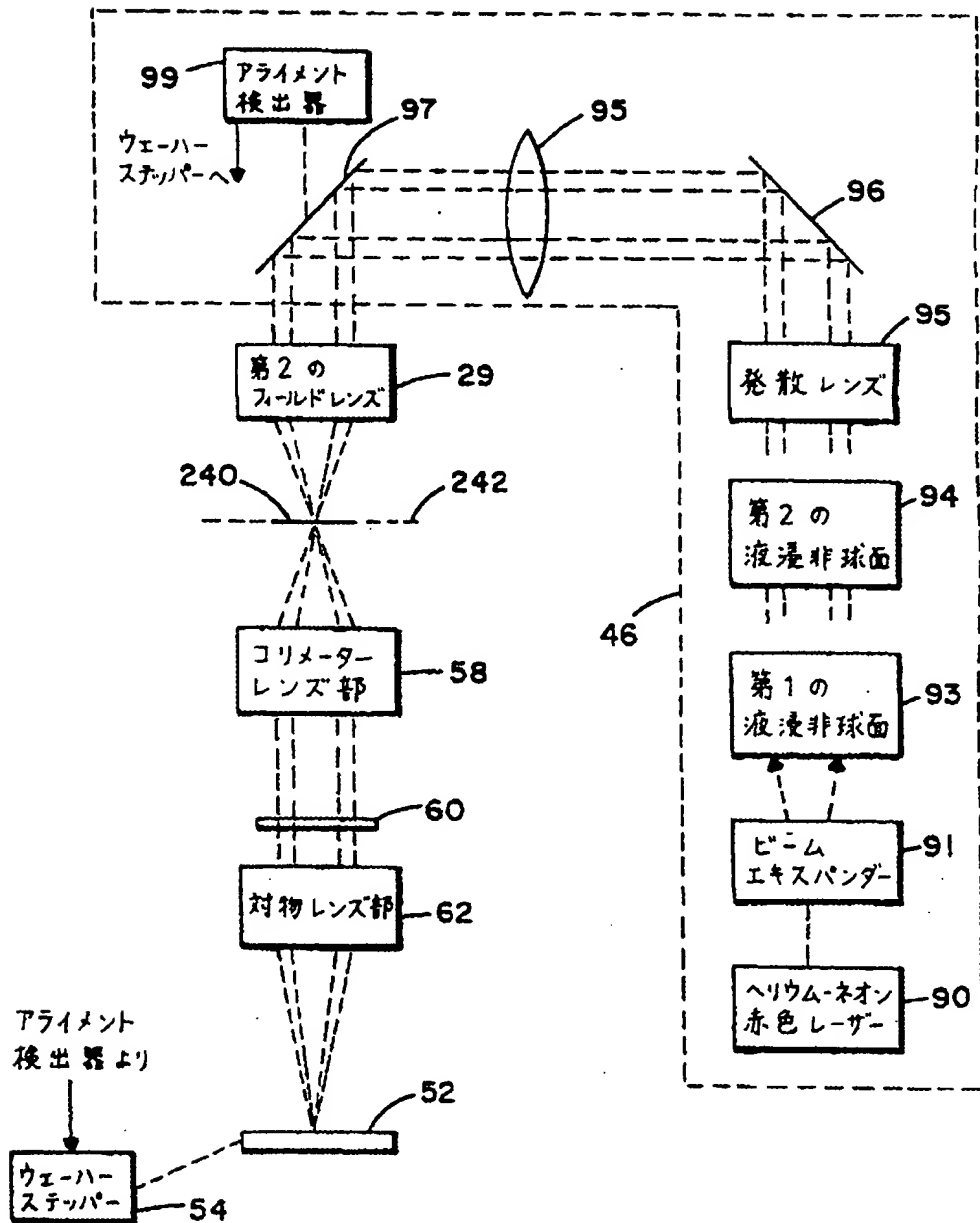
【第4図】



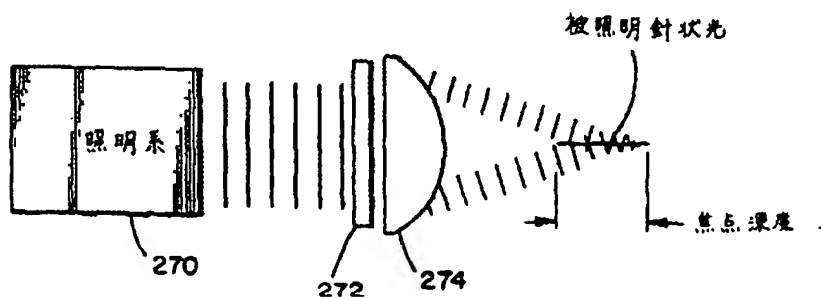
【第5図】



【第7図】

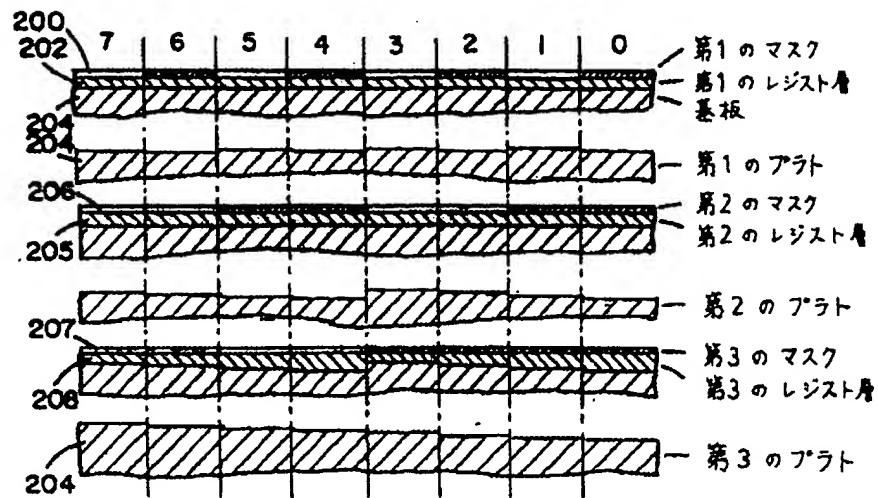


【第14図】

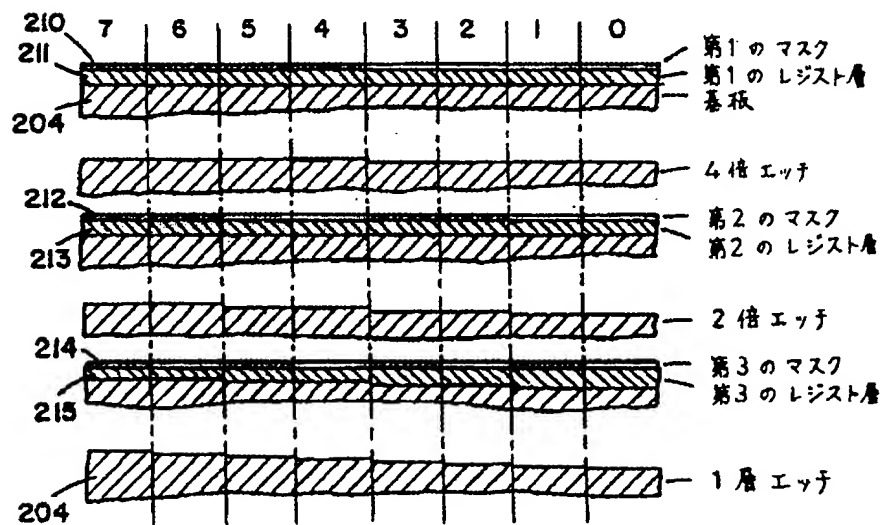




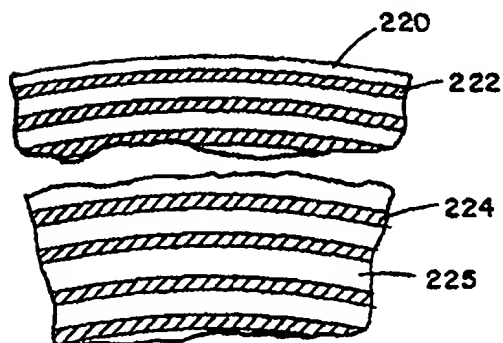
【第9図】



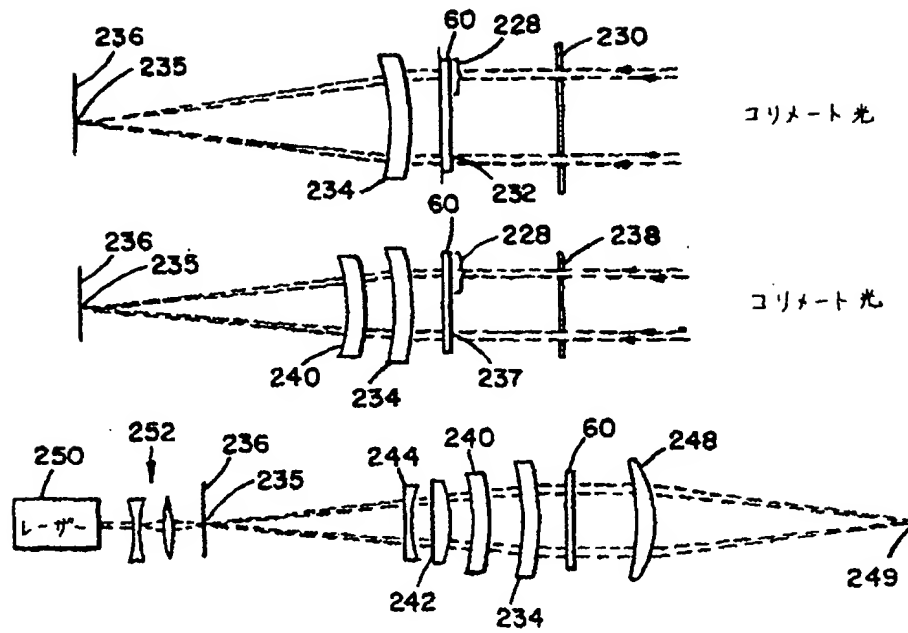
【第10図】



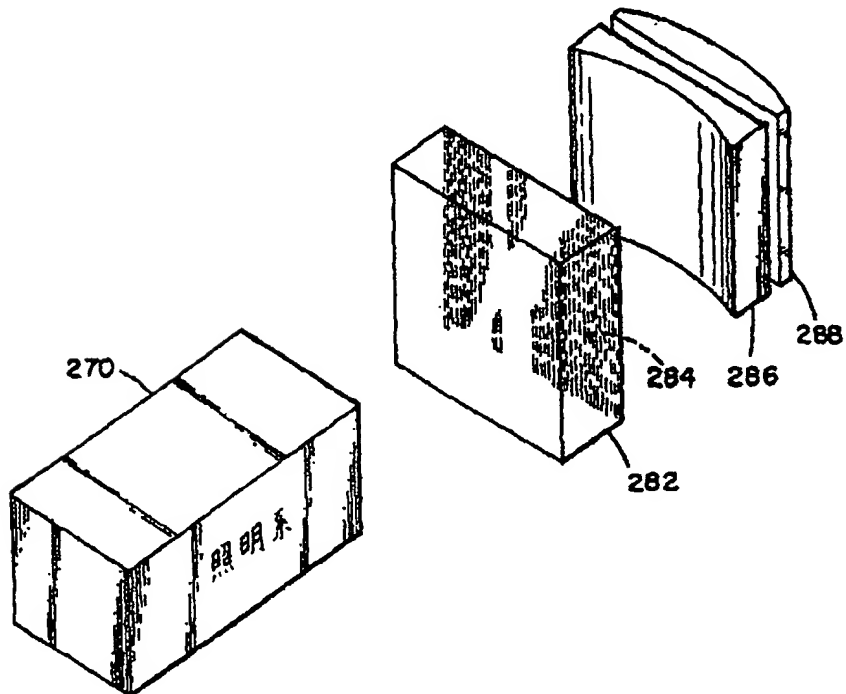
【第11図】



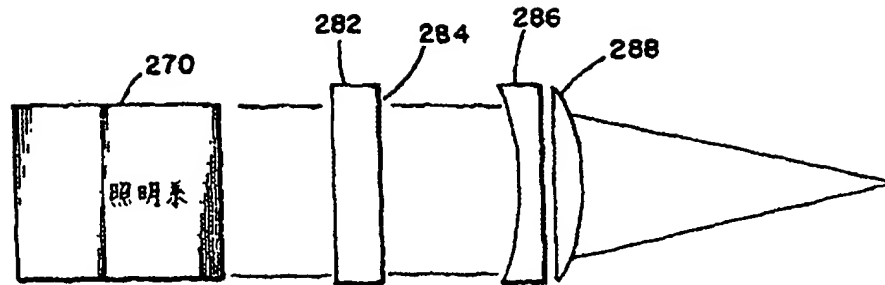
【第12図】



【第15図】



【第16図】




---

フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 昭61-91620 (JP, A)  
 特開 昭59-137908 (JP, A)  
 特開 昭60-181701 (JP, A)  
 特開 昭60-214334 (JP, A)  
 特開 昭62-229203 (JP, A)  
 特開 昭62-238502 (JP, A)  
 実開 昭61-90029 (JP, U)  
 Journal of Optical  
 Society of America,  
 51(1) (1961), p. 17-20  
 Optics Communications,  
 5(4) (1972), p. 232-235  
 Optik, 67(3) (1984), p.  
 267-278

(58) 調査した分野(Int.Cl.<sup>6</sup>, DB名)  
 G02B 9/00 - 21/36